

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany

**Porovnání požárně technických charakteristik
izolačních systémů PUR a PIR**

Student: Jan Haberhauer

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jana Drgáčová, Ph.D.

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Datum zadání bakalářské práce: 30. 11. 2009

Datum odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2010

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“

V Ostravě, 30. dubna 2010

.....

Jan Haberhauer

Anotace

HABERHAUER, J. *Porovnání požárně technických charakteristik izolačních systémů PUR a PIR: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2010. 47 s.

Klíčová slova: polyuretan, tvrdá pěna, izolace, panel, požárně technická charakteristika, třída reakce na oheň

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku stanovení základních požárně technických charakteristik polyuretanových pěn PUR a PIR.

Nejprve seznamuji se stavbou polyuretanů, poté jejich výrobou a rozdělením. V další části najdeme možnosti jejich využití v tepelně izolačních systémech. Poté následují požárně technické charakteristiky v teoretické rovině, na něž navazují naměřené hodnoty.

Získané hodnoty porovnám a následně vyhodnotím, který z těchto materiálů bude mít požárně technické charakteristiky výhodnější pro konečné použití. Tzn. materiál, který bude méně přispívat k rozvoji a šíření požáru.

Annotation

HABERHAUER, J. *Comparison of Fire Technical Characteristics of PUR and PIR Insulation Systems: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, 2010. 47 p.

The assignment of the determination of the basic fire technical characteristics of PUR and PIR polyurethane foam is solved in this Bachelor's Thesis. In the first part the structure the production and sorting of the polyurethanes are introduced. In the next part the possibilities of their utilization in thermally insulating systems are found. These are followed by fire technical characteristics on a theoretical level and recorded figures.

The recorded figures of fire technical characteristics of the materials are compared and evaluated in point view of their amenability for their final use. It means the best material is that one which contributes less to development and diffusion of fire.

Key words: polyurethane, hard foam, insulation, panel, fire technical characteristics, class of reaction to fire

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Polymery	6
2.1	Úvod do polyuretanů.....	8
2.2	Fyzikální vlastnosti polyuretanů	8
2.3	Chemické vlastnosti polyuretanů.....	9
3	Výroba polyuretanů	11
3.1	Polyoly	11
3.2	Extendery.....	12
3.3	Katalyzátory.....	12
3.4	Rozdělení polyuretanů.....	13
3.4.1	Lehčené hmoty	13
3.4.2	Lepidla	16
3.4.3	Vlákna a filmy.....	16
3.4.4	Elastomery	17
3.4.5	Licí pryskyřice	18
3.4.6	Nátěrové hmoty.....	18
3.4.7	Ostatní aplikace	19
4	Tepelně izolační systémy	19
4.1	Sendvičové panely	21
4.1.1	Stěnové izolační panely	21
4.1.2	Střešní izolační panely	22
4.2	Tvrdé PUR a PIR desky	23
4.2.1	Zateplení stěn	23
4.2.2	Zateplení střech	23
5	Požárně technické charakteristiky polyuretanů	24
5.1	Stanovení zapalitelnosti.....	27
5.2	Stanovení hořlavosti na základě šíření plamene	27
5.3	Hodnocení hořlavosti materiálů na základě vývoje tepla.....	28
5.4	Tvorba kouře.....	28
5.5	Třídy reakce stavebních výrobků na oheň.....	29
5.5.1	Zkušební metody	30
6	Praktická část.....	31
6.1	Stanovení vznětlivosti materiálů podle ČSN 64 0149	31
6.2	Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla podle ČSN 64 0756	34
6.3	Zkouška zapalitelnosti podle ČSN EN ISO 11925 – 2	36
6.4	Stanovení spalného tepla podle ČSN EN ISO 1716	40
7	Závěr	42
8	Zdroje a literatura	44
9	Seznam obrázků, tabulek a zkratk	45

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je porovnání požárně technických charakteristik izolačních systémů PUR a PIR.

Jejich porovnání se jeví jako velice zajímavé téma, jelikož tyto materiály nabývají stále většího rozšíření a významu v zateplovacích systémech. Současný rozvoj zateplování staveb lze přičíst zejména růstu cen energií na vytápění a státnímu dotačnímu programu Zelená úsporám. Tím jak téměř každoročně stoupají náklady na vytápění objektů, stoupá i poptávka po zateplovacích systémech. V neposlední řadě může mít vliv i citlivější přístup současné generace k ochraně životního prostředí.

Stanovení základních požárně technických charakteristik bylo dosaženo měřením v laboratoři fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB – TU Ostrava. Zvolil jsem 4 zkušební metody. Stanovení zapalitelnosti testuji Setchkinovým testem (ČSN 640149) a stanovením kyslíkového čísla (ČSN ISO 4589 - 2). Setchkinův test umožňuje stanovit teplotu vzplanutí, vznícení a žhnutí. Kyslíkové číslo nám zase udává nejnížší koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem, při které materiál ještě hoří.

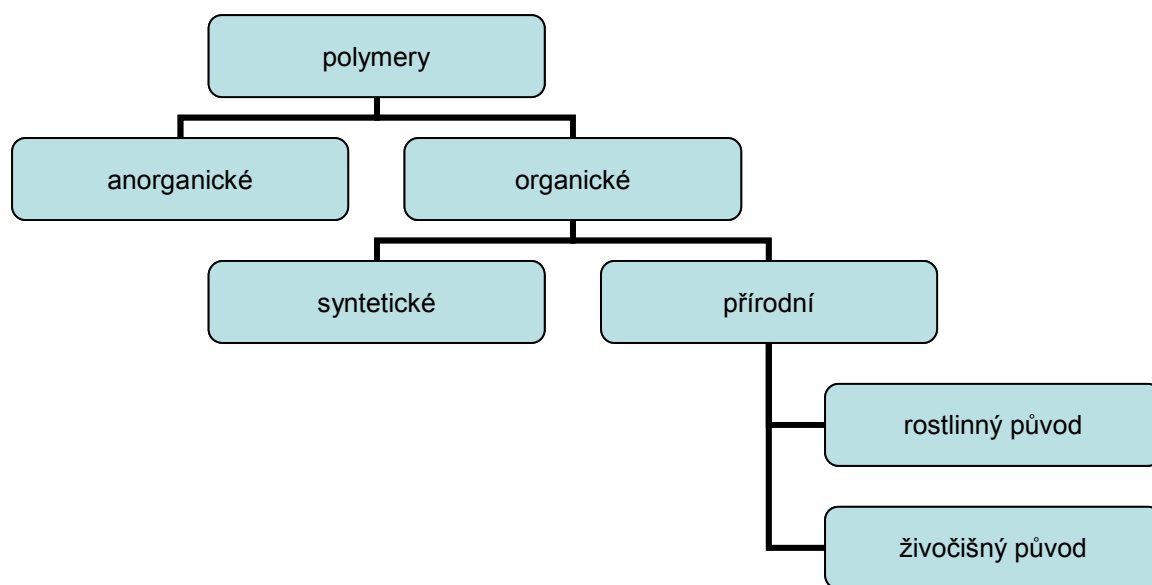
Pro stanovení hořlavosti na základě šíření plamene mi slouží zkouška malým zdrojem plamene (prEN ISO 119 - 2). Tím se stanoví zápalnost polyuretanu vystaveného působení malého plamene.

Hodnocení hořlavosti na základě vývoje tepla reprezentuje metoda Stanovení spalného tepla (prEN ISO 1716). Hodnota spalného tepla nám udává veškeré teplo vzniklé při spálení materiálu.

Pracuji se třemi různými výrobními šaržemi polyuretanů. Získané hodnoty a poznatky z laboratoře jsou na konci práce přehledně seříděny a vyhodnoceny. Takto zjistím, který polyuretan bude z hlediska rozvoje a šíření požáru nejbezpečnější.

2 Polymery

Za výrazem polymer se obecně skrývá každá makromolekulární látka, která se skládá z opakujících se strukturních jednotek (merů). Polymery najdeme jak v anorganické, tak organické struktuře. Mezi anorganické se dají zařadit např. grafit, diamant, křemen, slída apod. Organické se dále ještě dělí, na syntetické a přírodní. Do skupiny organických přírodních polymerů zařazujeme látky jak rostlinného původu (celulóza, kaučuk), tak látky původu živočišného, především na bílkovinné bázi (vlna, rohovina, srst aj.). Náš hlavní zájem však bude směřovat především k polymerům syntetickým. Ve skupině syntetických polymerů můžeme najít především plastické hmoty, materiály na bázi kaučuku a materiály na bázi celulózy. [1]



Obr.1 Rozdělení polymerů [1]

Podle vnitřní stavby se polymery rozdělují:

- Lineární (s řetězcem přímým nebo rozvětveným)
- Plošné (struktura je dvojrozměrná)
- Prostorové (struktura je trojrozměrná)

Syntetické polymery získáváme z monomeru (popřípadě ze dvou a více různých monomerů) tzv. polyreakcemi. Ty se dále dělí na: [1]

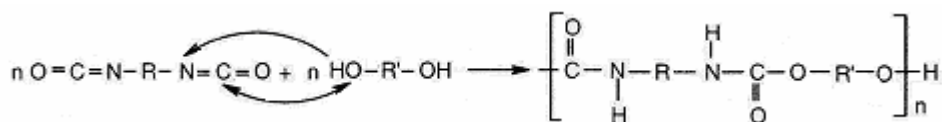
- Polykondenzace
 - hydrolytická polymerace cyklických monomerů
 - prostorová (trojrozměrná polykondenzace)
- Polymerace na dvojně vazbě
 - radikálová řetězová polymerace
 - iontová řetězová polymerace
- Polyadice

Dále nás bude zajímat jen polyadice, jelikož díky ní nám může vzniknout polyuretan.

Charakter polyadice (záleží na okolnostech) může být stupňovitý jako polykondenzace nebo řetězový jako iontová polymerace. Odlišují se tím, že neuvolňují nízkomolekulární produkty. Charakteristický rys je, že se atom vodíku vázaný na první molekule přenesse do struktury druhé molekuly atd. Postupně tak, jak se jednotlivé molekuly monomeru připojují k rostoucí makromolekule. Existují dva typy těchto reakcí:

- Jeden atom vodíku se přesouvá po celém rostoucím řetězci od začátku až do konce.
- Do reakce vstupují dva bifunkční monomery. Atom vodíku se přesouvá z jedné molekuly monomeru na molekulu druhého monomeru. Tímto se obě molekuly spojí.

Tvorba polyuretanů je právě typický příklad polyadice bifunkčních monomerů s jediným přemístěním vodíku. Dochází k adici dvoj- nebo vícefunkčního alkoholu na dvoj- nebo vícefunkční izokyanát. Bifunkční monomery nám dávají lineární makromolekuly polyuretanu. [1, 2]



Obr. 2 Adice vícefunkčního alkoholu na vícefunkční izokyanát. [1]

2.1 Úvod do polyuretanů

Pod pojmem polyuretany se skrývají polymery připravené adiční reakcí mezi polyisokyanáty (bifunkčními nebo vícefunkčními) a sloučeninami bohatými na hydroxilové skupiny (nejméně s dvěma hydroxilovými skupinami v molekule), jako jsou např. glykoly, polyestery, polyethery.

Podle funkčnosti reagujících složek vznikají lineární nebo prostorově uspořádané polyadukty. Charakteristickou vazební jednotkou je uretanová skupina – NH – CO – O –.

Jedná se o velmi významnou skupinu polymerů, která začíná nabývat hospodářského uplatnění někdy na přelomu 30. a 40. let 20. století. K jejich velkému rozvoji přispělo využití jednoho z dávných směrů v organické chemii (zhruba půl druhého století zpět), a to výzkum isokyanátů. Do zmíněných 30. let ale nebyla výzkumu v této oblasti věnována pozornost, kterou by zasluhoval. Od této doby bylo zřejmé, že jde o velice výhodný materiál co do šíře palety dosažitelných vlastností a tedy i jejích aplikací.

Německu se brzy po 2. světové válce stalo v tomto odvětví jedničkou ve světě. V USA, které v nových technologiích nikdy nechce zůstat pozadu, byl tento průmysl teprve v začátcích. I přes slibné americké výzkumy vyšel skutečný podnět k rozmachu výroby z Německa. Konkrétně od dr. O. Bayera.

Dnes patří polyuretany objemem výroby mezi 10 nejčastěji vyráběných polymerů. Jejich světová spotřeba byla v roce 2000 někde kolem 8,5 mil. tun. [1, 3, 4]

2.2 Fyzikální vlastnosti polyuretanů

Pro porozumění budeme zkoumat stavbu různých polymerů. To nám pomůže pochopit jak využít uretanové vazby v polymerních materiálech pro průmyslovou výrobu. Vezmeme-li uretanovou skupinu a místo jednomocného alkoholu použijeme například sloučeninu s více hydroxylovými skupinami, vytvoříme základ pro další růst molekuly. Podobně, jestliže použijeme vhodné vícefunkční dusíkaté sloučeniny, získáme další místo pro růst řetězce.

Nejjednodušší forma polyuretanu je lineární. Tento řetězec lze srovnat např. s nylonem, nebo jinými lineárními polymery. Tzn., že lineární polyuretany lze využít v podobě vláken, štětín apod.

Přidáním více než dvoufunkčních sloučenin se dají připravit málo až silně rozvětvené polymery s různým stupněm zesíťení. Takto vznikají látky, které mají různé fyzikální

vlastnosti. Změnou stupně rozvětvení se tudíž dají připravit plastické hmoty jakéhokoli typu (od termoplastů až po termosety). Mimo jiné lze ještě zaměňovat organické skupiny mezi uretanovými vazbami. Tím docílíme ještě více říditelnou škálu fyzikálních vlastností.

Rozdílná tepelná stabilita uretanových vazeb.

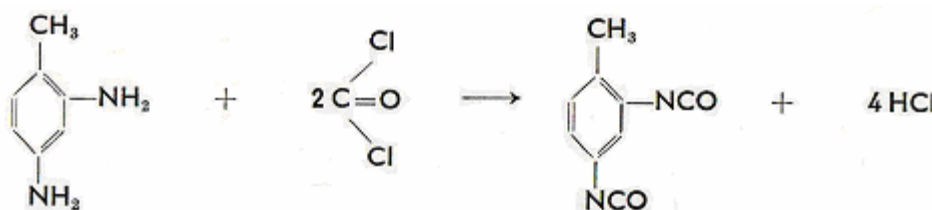
- aryl – NH – CO – O – aryl asi do 120°C
- alkyl – NH – CO – O – aryl asi do 180°C
- aryl – NH – CO – O – alkyl asi do 200°C
- alkyl – NH – CO – O – alkyl asi do 250°C

Je nesmírně mnoho možností a rovněž lze vytvořit celou postupnou řadu různě tuhých materiálů. Ohromná rozmanitost výrobků vysvětluje dnešní široké uplatnění polyuretanů. [3]

2.3 Chemické vlastnosti polyuretanů

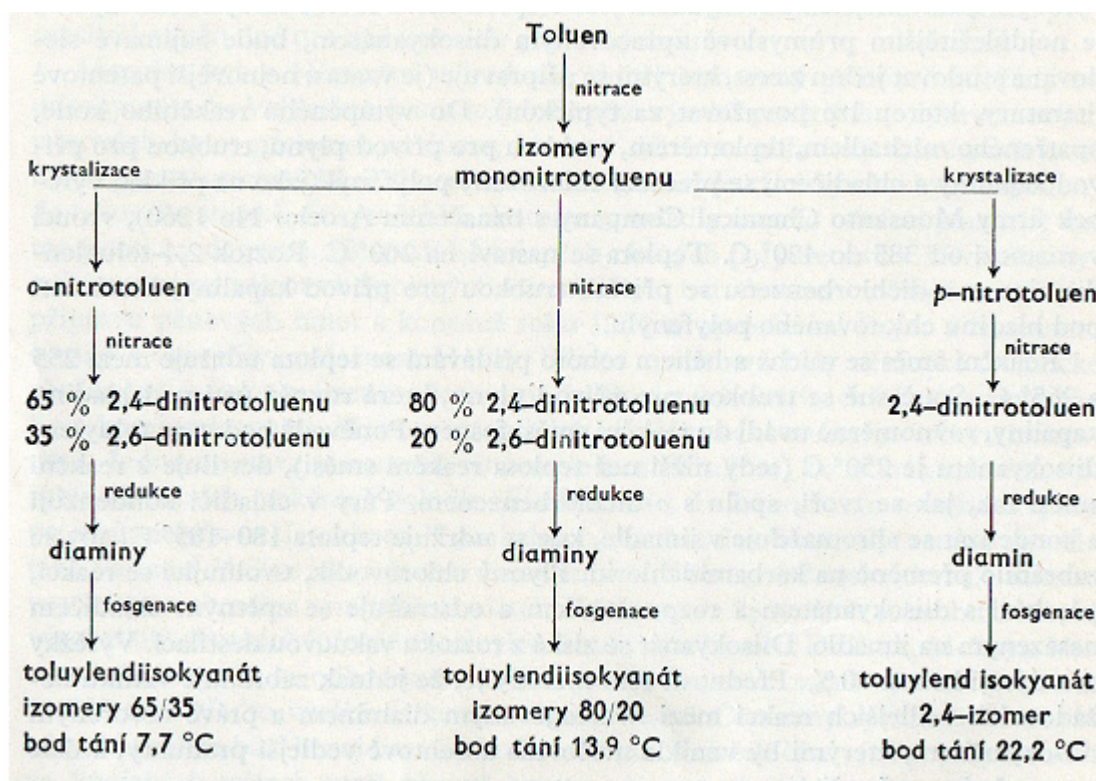
Nejdůležitější chemické látky, které se používají v průmyslové výrobě polyuretanů jsou polyisokyanáty, hlavně pak diisokyanáty. K syntéze diisokyanátů se zkoušelo hned několik metod, ale jen jedna se dočkala většího využití v praxi. Téměř všechny dnešní průmyslové metody vycházejí právě z ní. Je to tzv. Hentchelova metoda z roku 1884. Reagují zde fosgen s nějakým aminem popř. s některou z jeho solí.

Zde konkrétně reakce m-toluyldiamin s fosgenem za vzniku m-toluyldiisokyanátu (2,4 diisokyanatotoulen) a chlorovodíku.



Obr. 3 Reakce m-toluyldiaminu s fosgenem [3]

Z čeho lze získat toluyldiamin můžeme najít na Obr. 4



Obr. 4 Schéma přípravy izomerních tolulendiisokyanátů [3]

Z Obr. 4 je zřejmé, že nejekonomičtější výrobní proces je při výrobě směsi izomerů v poměru 80:20.

Polyisokyanáty se používají, protože reagují s každou chemickou sloučeninou, která obsahuje aktivní vodík. Na ni se potom adují.

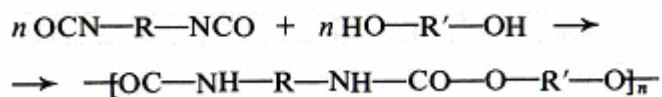
Sloučenina s aktivním vodíkem je ta, která po přidání do roztoku methyljodidu (tzv. Grignardovo činidlo) bude rozkladem uvolňovat methan. Můžeme zde zařadit sloučeniny s hydroxylovou skupinou (voda, alkoholy, fenoly), aminoskupinou (primární a sekundární), karboxylovou skupinou, vodík na určitých aktivovaných methylenových skupinách, např. jako v esterech kyseliny acetoctové, malonové.

Sloučeniny s aktivním vodíkem podle klesající reaktivity s isokyanáty:

Alifatické aminy > aromatické aminy > alifatické substituované močoviny > primární alkoholy > sekundární alkoholy > voda > fenoly > aromatické substituované močoviny.

Nejreaktivnější jsou primární aminy. Reakce s aminy a alkoholy probíhá při teplotě cca 20 °C za silného tepelného zabarvení, přičemž nevznikají vedlejší produkty. Důležité je, aby se reakce isokyanátů s hydroxy sloučeninami prováděla v bezvodém prostředí. Kdyby tomu tak

nebylo, odštěpoval by se CO_2 a vznikaly by močovinné vazby. Reakcí s aminy vznikají substituované močoviny. Pro přípravu polyuretanů se tedy vychází z isokyanátů a hydroxy sloučenin. Vznikne již zmíněná charakteristická vazba, uretanová skupina $-NH-CO-O-$. Tak například z diisokyanátu a diolu vzniká lineární polyuretan. [3]



Obr. 5 Vznik lineárního polyuretanu [3]

Reaktivita isokyanátů vzrůstá v pořadí hydroaromatické – alifatické – aromatické.

V drtivé většině případů vychází produkce polyuretanu z aromatických polyisokyanátů (cca 95%). Jsou levnější a reaktivnější než alifatické. Jejich nevýhodou jsou sklony ke žloutnutí vlivem světla a kyslíku. Tyto nedostatky postrádají polyuretany vyrobené z alifatických a cykloalifatických isokyanátů, jsou ale velmi těkavé a toxičtější.

Isokyanáty obecně jsou velice toxické látky, a proto je výroba polyuretanů z technologického a hlavně bezpečnostního hlediska velmi náročná. V ČR se tyto látky nevyrábí, tudíž jsme závislí na jejím dovozu ze zahraničí. [1]

3 Výroba polyuretanů

Základní suroviny pro výrobu polyuretanů tedy jsou polyisokyanáty, (viz předchozí kapitola), dále pak polyoly, extendery a katalyzátory. [4]

3.1 Polyoly

Polyoly jsou sloučeniny, které ve své struktuře obsahují hydroxylové skupiny OH. Zde hovoříme zejména o polyesteralkoholech a polyetheralkoholech.

Polyesteralkoholy se nejčastěji připravují polyesterifikací dikarboxylových kyselin (zejména kyselina adipová a ftalanhydridu) a přebytku diolů (diethylenglykol, 1,4 – butandiol, 1,6 – hexandiol a neopentylglykol). Konce řetězců obsadí hydroxylové skupiny. Při částečné náhradě diolu triolem získáme rozvětvený produkt. Produkty, které jsou vytvrzeny polyesterem mají vyšší tvrdost, lépe odolávají povětrnostním vlivům a vyšší teplotě. Nevýhodou může být snazší hydrolyzovatelnost.

Polyetheralkoholy vznikají polymerací propylenoxidu nebo jeho směsi ethylenoxidem. Podle látky, na kterou se propylenoxid aduje, se rozlišují následné produkty funkčností. Například z vody a propylenoxidu vznikne lineární polyetherdiol. Použijeme-li látku s více aktivními vodíky, získáme rozvětvené vícefunkční polyetheralkoholy. Dále se dají jako iniciující látky používat pentaerythritol a aromatické a alifatické diaminy. [4]

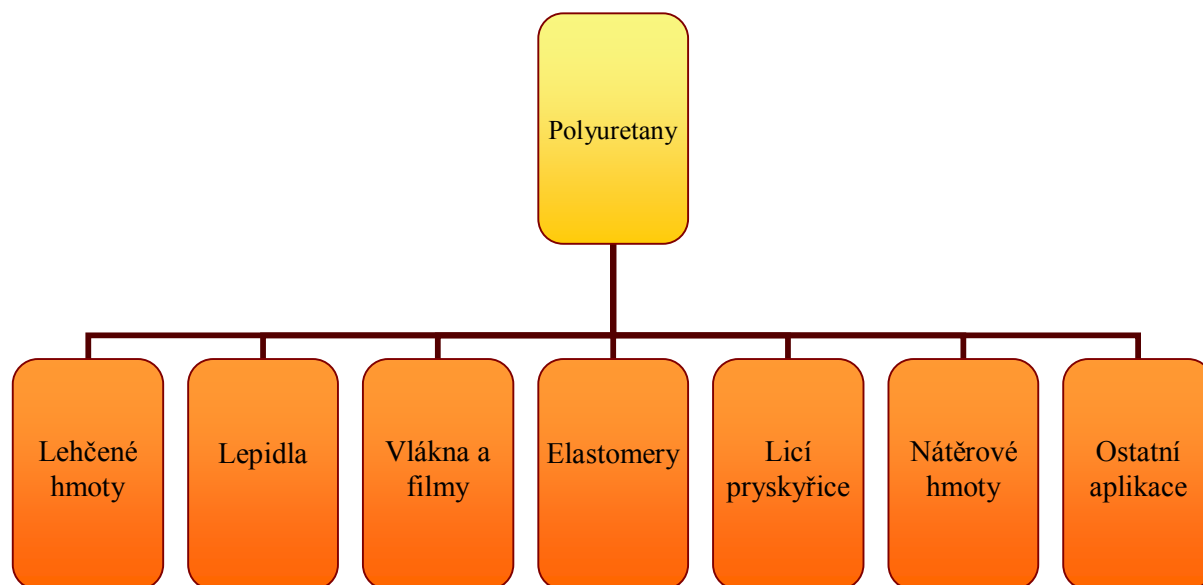
3.2 Extendery

Extendery fungují jako prodlužovače řetězců. Mají vliv na povahu a hustotu chemického i fyzikálního zesíťení. Ačkoliv jsou jen minoritní složkou, tvoří důležitou roli v řízení konečných vlastností PUR. Využívají se aromatické diaminy (např. 3,5 – diethyl – 2,4(2,6) – diaminotoluen), alifatické, cykloalifatické nebo aromatické hydroxysloučeniny. Reaktivnější jsou aromatické diaminy, které se používají v kombinaci s méně reaktivními předpolymery. Naopak méně reaktivní hydroxysloučeniny se používají s reaktivnějšími produkty. [4]

3.3 Katalyzátory

Těmito sloučeninami lze ovlivnit jak celkovou rychlost reakce, tak poměr rychlostí reakcí vedoucích k prodloužení lineárního řetězce a také reakce, při kterých se uvolňuje CO_2 pro tvorbu pěny a síťování. Využívá se např. triethylendiamin, tributylcindiaceát nebo dibutylcindilaurát. [4]

3. 4 Rozdělení polyuretanů

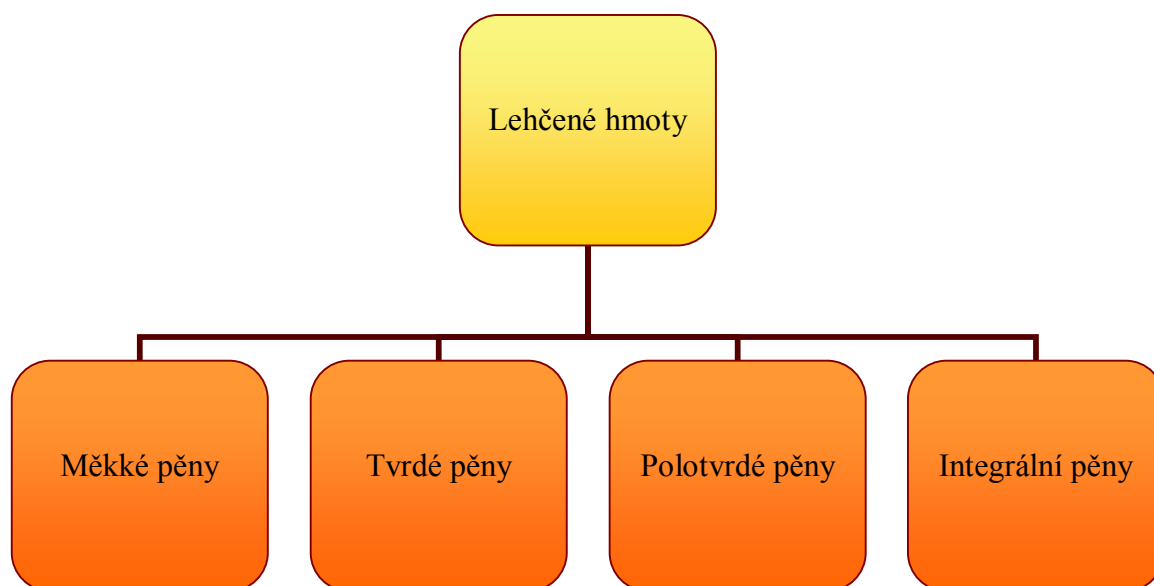


Obr. 6 Rozdělení polyuretanů

3. 4. 1 Lehčené hmoty

Z celkového objemu výroby tvoří 50% výroba měkkých pěn a 30% výroba tvrdých pěn. Základní suroviny jsou polyisokyanáty, polyoly a voda. Reakcí diisokyanátů s hydroxylovými skupinami vzniká polyuretanová vazba. Zreaguje-li isokyanátová skupina s vodou, odštěpí se CO_2 , jenž působí jako nadouvadlo. Vzniklé aminy ihned reagují s přítomnými isokyanátovými skupinami za vzniku močovinových seskupení. Zesíťované polyuretanové pěny obsahují podle IČ spektroskopie uretanové, močovinové a biruetové struktury.

Nejčastěji se připravují v tzv. zpěňovacích strojích. Do míchací hlavy se postupně dávkuje kapalný isokyanát, polyhydroxysloučenina, voda a pomocné látky. Míchadlo s vysokou frekvencí otáčení vytvoří vysokoviskózní kapalinu. Ta se poté nalije do forem a bez přístupu vzduchu po několika vteřinách vypění. Během 1–2 minut zvětšování objemu skončí a po 10–20 minutách se může hmota lehčeji vyjmout z formy. Největší lící stroje mají výkon až kolem jedné tuny za hodinu. Ačkoliv vypěnění funguje při normální teplotě, může podle tloušťky pěny teplota uvnitř vzrůst až na 180 °C. Při výrobě musí taktéž být zajištěno dokonalé odsávání diisokyanátových par. [4]

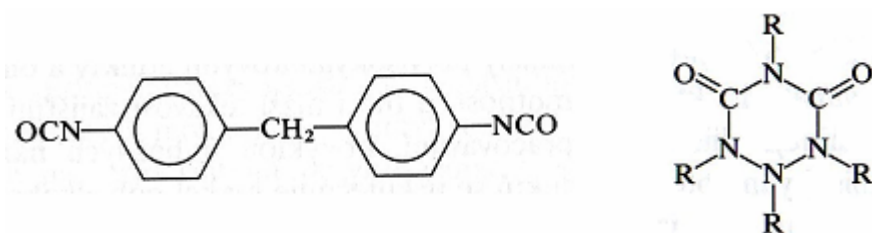


Obr. 7 Rozdělení lehčených hmot

Na přípravě měkkých pěn se jako hydroxylová složka podílí lineární nebo slabě rozvětvené polyester kyseliny adipové a diethylenglykolu (s přidaným trimethylolpropanem), a nebo polyethery připravené polymerací propylenoxidu, ethylenoxidu nebo tetrahydrofuranu. Je třeba, aby mezi uzly polymerní sítě byly dlouhé a elastické řetězce. Proto by neměl hmotnostní podíl isokyanátové složky překračovat 40%. Větší část měkkých pěn se připravuje v tzv. blocích. Měkké polyesterové pěny nalezneme jako prostředek pro laminování textilu, obaloviny, izolační a těsnící pásy. Kromě bloků se menší část měkkých pěn vyrábí také přímo na svůj konečný tvar v různě tvarovaných formách. Je to tzv. studená pěna, na jejíž výrobu jsou zapotřebí vysoce reaktivní polyethery a isokyanáty, které se získávají smísením toluylendiisokyanátu s polymerním difenylmethandiisokyanátem. Uplatnění takto vzniklé pěny nalezneme zejména v nábytkářském a automobilovém průmyslu. Všude tam, kde budou zapotřebí tvary, jež by se obtížně získávaly přirezáváním. Připravují se o hustotě $15\text{--}70 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. [4]

Pro přípravu tvrdých pěn se využívá více isokyanátové složky (až 70% celkové hmotnosti). Hydroxylová složka je tudíž silně rozvětvená. Isokyanátovou část zastupují převážně technické difenylmethandiisokyanáty, z nichž se vyrábí tzv. PUR pěny, a nebo isokyanuráty pro výrobu PIR pěn. Ty mají za následek (ve srovnání s měkkými pěnami) vyšší houževnatost výrobku. Tvrdé pěny se vyrábějí v otevřených nebo uzavřených formách. V úvahu přichází také možnost pracovat tzv. dvoustupňově; z polyesteru nebo polyetheru a přebytku

diisokyanátu se vytvoří předpolymer. Ten je možné delší dobu skladovat a až po přidání vody popř. fluortrichlormethanu vzniká pěna. Vyrábí se ve formě bloků nebo desek. Využití je rovněž velice široké. Vzhledem k vyššímu podílu uzavřených pórů jsou vynikajícím tepelně izolačním materiálem. Nalezneme je v chladírenských zařízeních, v sendvičových stavebních prvcích (opláštění i stropní desky montovaných staveb), v kontaktních zateplovacích systémech (podobně jako nejhojněji používaný polystyren), popř. i ve výrobě dopravních prostředků (vypnění v dutinách karosérie – nižší vibrace, vyšší tuhost karosérie, zvuková a tepelná izolace). Hustota pěn se pohybuje od 10 do 600 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. [1, 4]

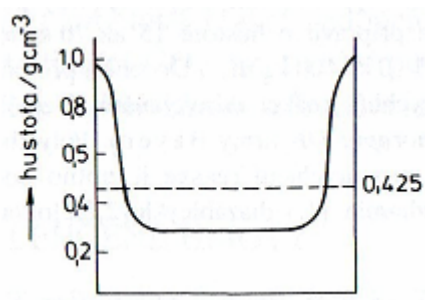


Obr. 8 Dyfenylmetandiisokyanát a isokyanurát [4]

Polotvrdé pěny se vyrábějí téměř výhradně v blocích na polyesterové bázi. Slouží podobně jako pěny tvrdé pro vyplňování dutin a jako izolační materiál (v lednicích, stavebnictví, izolace potrubí aj.). Hustota se koluje v rozmezí 100 – 150 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. [4]

Velice významné jsou rovněž **integrální pěny**. Při jejich přípravě vznikne ve formě pórovité jádro a nepórovitá kůra, která je integrální součástí výrobku. Hustota tím pádem od středu ke kraji vzrůstá (viz Obr. 9). Nadouvadlem je v tomto případě fluortrichlormethan. V závislosti na teplotním gradientu mezi teplotou formy a vnitřku pěny dochází k rozdělení pórů; nižší teplota formy = tlustší kůra. Při přípravě měkkých integrálních pěn se používají vysokomolekulární polyethery a jen malé množství nízkomolekulárních polyolů jako síťovadel. Pro získání tvrdých integrálních pěn musíme pracovat s kratšími polyethery, aby bylo docíleno silného zesíťování.

Směs se vypouští do forem. Vlivem exotermické reakce se nadouvadlo odpařuje, směs se napění a vyplní dutiny. Ve formě musí být vhodné otvory pro únik vzduchu. Z měkkých integrálních pěn se vyrábějí některé podrážky bot, automobilové nárazníky aj. Tvrdé integrální pěny se osvědčily v nábytkářství, při výrobě fonoskřínků, jader lyží apod. Hustota pěn se pohybuje od 150 do 800 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. [4]



Obr. 9 Průřez integrální polyuretanovou pěnou [4]

3. 4. 2 Lepidla

Lepidla jsou dvousložková. První složka polyisokyanáty jsou velice vhodné k slepování materiálů rozdílných vlastností (např. kaučuk s celulóзовými vlákny, kovy, sklem apod.). Pro výrobu lepidel musí mít polyisokyanáty minimálně tři vysoce reaktivní isokyanátové skupiny. Jsou to hlavně surový tris(p – isokyanatofenyl) – methan, produkt fosgenace anilinformaldehydové pryskyřice (Papi) a bezbarvý tris(p – isokyanatofenyl) – fosfát nebo thiofosfát v methylenchloridovém roztoku. Druhou složku tvoří polyesteralkoholy. Z polyesterů s větším obsahem hydroxylových skupin vznikají pevnější a tvrdší spoje, z polyesterů s menším obsahem hydroxylových skupin se vytvoří spoje houževnaté a elastické. Výborný lepicí efekt má více příčin. Isokyanátové skupiny reagují s vodním filmem na povrchu lepené části a odstraňují tuto rušivou mezivrstvu. Na místě mezivrstvy vzniká tenká vrstva polymočoviny, která s kovy vytváří chaláty a následkem silných vodíkových vazeb lpí na skle, celulóze aj. Vrstva lepidla je elastická a má vynikající mechanickou pevnost. Tyto lepidla jsou nejvhodnější pro náročné spoje nejrůznějších materiálů od kovů až po kaučuk. [4]

3. 4. 3 Vlákná a filmy

Zde se uplatňuje nejjednodušší polyuretan, tedy polyuretan lineární. Nejsnáze získatelný lineární polyuretan lze znázornit vzorcem $[-O(CH_2)_4OCONH(CH_2)_6NHCO-]_n$.

Vznikne z hexamethylendiisokyanátu a 1, 4 – butandiolu. Je to bílá hmota, která se podobá polyamidu. Je silně krystalický, tepelně nestálý. Při teplotách nad 220 °C se začíná postupně rozpadat. Na rozdíl od polyamidů mají lineární polyuretany lepší odolnost proti vodě, kyselinám, povětrnostním podmínkám a lepší elektroizolační vlastnosti. Pro textilní využití jsou však nevhodné, jelikož jeho vlákna jsou drsnější, příliš rychle krystalizují a špatně se

barví. Za nižších teplot se rozpouští ve fenolech, kyselině mravenčí a sírové. Jeho využití je známé jako vstřikovací hmota pro výrobu kartáčů, řemenů, vlasců, filtračních plachetek aj. Technická vlákna vzniknou zvlákněním polymeru rozpuštěného v dimethylformamidu do srážecí lázně. [4]

3. 4. 4 Elastomery

Polyuretanové elastomery získáme z předpolymeru, který má koncové skupiny – NCO. Mísí se dvoufunkční isokyanát s lineárním polyesterem nebo polyetherem s koncovými skupinami – OH. Polyester bývá na bázi kyseliny adipové a ethylenglykolu, 1, 3 nebo 1, 4 – butandiolu nebo propylenglykolu. Z polyetherů se nejlépe hodí poly(1, 4 – oxybutylen)glykol z tetrahydrofuranu. Používané isokyanáty jsou 2, 4 – diisokyanatotoluen, 4, 4 – diisokyanatodifenylmetan a 1, 5 – diisokyanatonaftalen.

Ve druhém stupni se prodlužuje řetězec pomocí přidávání malého množství nízkomolekulární sloučeniny reagující se skupinami – NCO. To jsou některé dioly a diaminy. Tak lze získat polymerní řetězce, které obsahují koncové skupiny – NCO.

Třetí reakční stupeň je charakterizován zahříváním a následným zesíťováním. Zbylé volné skupiny – NCO makromolekulárních řetězců reagují se skupinami – NH – uretanových nebo močovinových skupin. Vznikají tak allofanátové nebo biruetové vazby a dochází ke stejnosměrnému zesíťování.

Konečné řídké zesíťování vznikne, nalijeme-li odplyněnou hmotu do forem, kde zraje při teplotě 100 °C po dobu 4–24 hodin. Kromě tohoto lícího postupu lze polyuretanové elastomery získat i za tepla zaválcovanými reaktivními skupinami – OH nebo – NH₂ do lineárního předpolymeru.

Tímto způsobem lze připravit polyuretanové kaučuky různých tvrdostí s vysokou protažitelností. Vždy mají vynikající elasticitu a lepší odolnost proti opotřebení než ostatní elastomery. Dobře odolávají světlu, kyslíku, ozonu i alifatickým uhlovodíkům. Při dosažení hodnot kolem 100 °C se však začínají rozkládat. Další jejich nevýhodou je vysoká cena. Používají se zvláště na různá těsnění, membrány, pohonné řemeny a pro výrobu podešví. S polyuretanovými elastomery se můžeme setkat i v podobě granulátu, který se dá dále zpracovávat jako běžné termoplasty (např. některé lyžařské boty). Kromě racionální výroby a dobré barvitelnosti můžeme ocenit i kvalitu povrchu. [4]

3. 4. 5 Licí pryskyřice

Licí pryskyřice se skládají opět ze dvou hlavních složek. Isokyanátová složka je surový diisokyanatodifenylmetan (pro nízký tlak par přípustný i pro zpracovávání ve volném prostoru) nebo zkapalněný čistý 4, 4 – diisokyanatodifenylmetan. Druhou složkou jsou polyoly, které nám určí tvrdost produktu. Z nich musí být odstraněna veškerá voda, protože ta má za následek vznik nežádoucího CO_2 , jenž by výsledný produkt napěnil. Vyloučit se nám ji podaří zeolity, které dokáží vázat vodu fyzikálně v krystalové mřížce. Tyto licí směsi lze dobře plnit všemi plnivý. Využití je jako u ostatních polyuretanů široké, (pro podlahoviny, na zalévání kabelových koncovek nebo spár ve stavebnictví, pro povrchy startovacích ramp letadel nebo atletických sportovních drah). [4]

3. 4. 6 Nátěrové hmoty

Pojiv pro nátěrové hmoty se v dnešní době využívá celá řada. Primárně se dělí podle počtu složek. Existují jednosložkové a dvousložkové.

	Jednosložková pojiva			Dvousložková pojiva	
	<i>Uretanové alkydy (oleje)</i>	<i>Pojiva vytvrzovaná vlhkostí</i>	<i>Pojiva vytvrzovaná teplem</i>	<i>Pojiva vytvrzovaná polyolem</i>	<i>Pojiva vytvrzovaná katalyzátory</i>
Sít'ování vlivem	kyslíku	vody	tepla	polyolu	katalyzátoru
Zasychání [hod]	0,1 - 3	podle vlhkosti	podle teploty	2 - 8	0,5 - 2
Pigmentace	obvyklá	obtížná	obvyklá	v polyolech	obtížná
Chemická odolnost	dobrá	velmi dobrá	výborná	výborná	výborná
Podíl na produkci [%]	40	30	10	10	10

Tab. 1 Typy polyuretanových lakařských pojiv [4]

Všechny tyto polyuretanové nátěrové hmoty, kromě dobré adheze, propůjčují natřenému materiálu vysokou odolnost proti oděru, trvalou elasticitu nátěru, dobrou odolnost vůči vodě, rozpouštědlům a chemikáliím a výborné elektroizolační vlastnosti. [4]

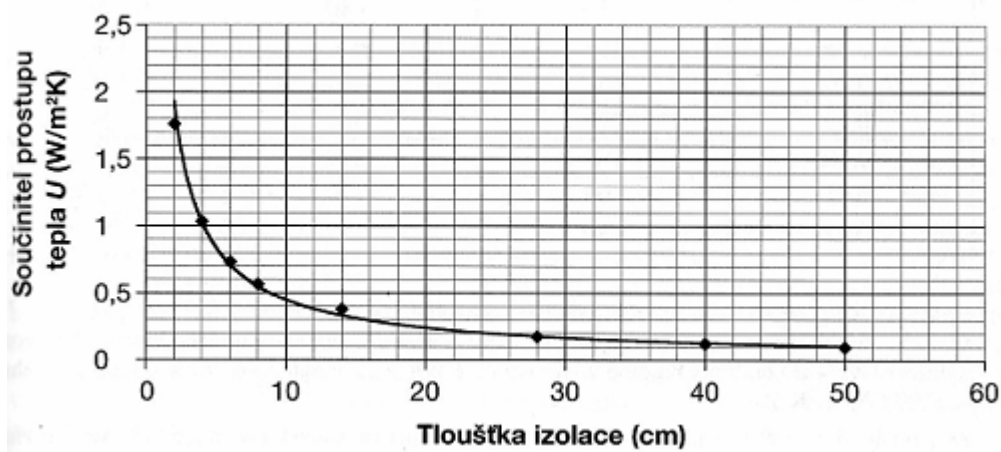
3. 4. 7 Ostatní aplikace

Např. polyuretanová pojiva uplatňujeme při výrobě syntetických usní pro svršky obuvi. Netkaná vlákna vícevrstevného materiálu se naimpregnují roztokem polyuretanového elastomeru v dimethylformamidu. Povrch se zpravidla ještě nalakuje polyuretanovým lakem. Ve výrobě obuvi si vydobyl polyuretan dobrou pozici, jelikož propouští vodní páru a je elastický i za nízkých teplot.

Polyuretany se dají využít i na zušlechtění některých druhů textilu. Kombinace polyesteralkoholů a polyisokyanátů se natírá na textilní povrch. Opět docílíme výborné mechanické pevnosti, odolnosti, hydrofóbnosti a lesku. [4]

4 Tepelně izolační systémy

Tepelně izolační materiály jsou z hlediska zateplování nejdůležitějším konstrukčním prvkem. Výběru vhodné izolace bychom měli věnovat náležitou pozornost. Cena by pro nás neměla být hlavním kritériem. Měli bychom klást důraz i na jiné vlastnosti. Protože při špatném výběru izolace můžeme na vytápění budovy prodělat více, než jsme ušetřili při jejím nákupu. Pro příklad se vždy uvádí součinitel prostupu tepla U . Ten vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými od sebe danou stavební konstrukcí vztáženou na metr čtvereční při rozdílu vnitřní a vnější teploty 1 Kelvin. Je všeobecně známo, že čím menší je součinitel prostupu tepla konstrukcí, tím menší je tepelná ztráta budov. Limitní hodnota součinitele prostupu tepla je nula, tj. $U \rightarrow 0$. Dosáhnout této limitní hodnoty by ale znamenalo nekonečně velkou tloušťku izolace.



Obr. 10 Průběh součinitele prostupu tepla v závislosti na tloušťce konstrukce [9]

Z křivky na *Obr. 10* je zřejmé, že při zvětšující se tloušťce konstrukce hodnota součinitele prostupu tepla prudce klesá, při větších tloušťkách se však příliš nemění. Proto by se měl stavebník pokusit najít nějakou kompromisní variantu. Použitím velké vrstvy izolace by dosáhl nižších tepelných ztrát, na druhou stranu by ale neúměrně narostly náklady na realizaci díla.

Nejvíce frekventované izolační materiály lze rozdělit takto:

- izolace z minerálních vláken
- pěnové polymery (expandovaný polystyren, extrudovaný polystyren, pěnový polyuretan – PUR, PIR)
- pěnové sklo
- izolace z papírových a dřevěných surovin

Pěnový polyuretan PUR, PIR nachází dobré uplatnění v pozemním stavitelství. Nejlépe jako zateplení střech a obvodových plášťů nebo jako tepelná izolace potrubí a chladíren. Uplatňuje se ve formě desek vypěněných v továrně, tj. tvrdé PUR resp. PIR desky nebo rozšířenější sendvičové panely, což jsou lehké konstrukce pro stavbu hal, garáží, supermarketů apod. Plechem opláštěné polyuretanové panely se používají i pro WC kabinky a sanitární přepážky, pro hygienická zařízení v hotelech, restauracích apod. Jiná možnost je polyuretan stříkat a nechat vypěnit přímo na stavbě. [5, 6, 7, 9]

Tloušťka panelu [mm]	Součinitel prostupu tepla [$W / m^2 K$]
40	0,50
70	0,30
100	0,21
120	0,18
150	0,14
200	0,11

Tab. 2 Účinnost zateplování budovy polyuretanem [6]

4.1 Sendvičové panely

Sendvičový izolační zateplovací panel znamená v jednom výrobku opláštění a zároveň zateplení budovy. Tyto panely musí splňovat následující základní požadavky:

- únosnost
- požární bezpečnost staveb
- ochrana proti hluku a úniku tepla
- zdravotní nezávadnost
- dlouhodobá životnost

Jednoduchá koncepce tohoto systému se projevuje velmi rychlou a snadnou montáží bez podstatného ovlivnění povětrnostními vlivy. Vzhledem k těmto kladným vlastnostem si ho oblíbilo velké množství investorů. Ti totiž požadují co nejrychlejší návratnost své investice, a to bez rychlé stavby není možné. Dále představím sendvičové polyuretanové panely od společnosti Kingspan. [6]

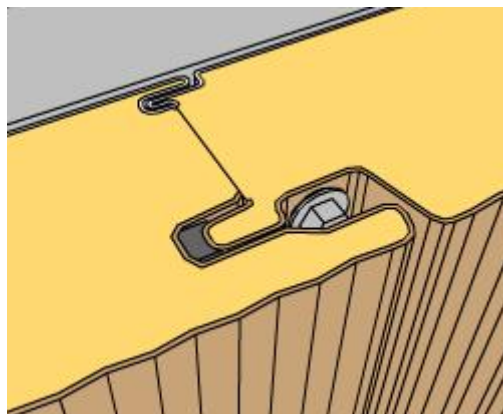
4.1.1 Stěnové izolační panely

Jsou to panely složené ze tří vrstev. Vrchní a spodní vrstvy tvoří ocelové plechy, mezi nimiž leží jádro z tuhé polyuretanové hmoty. Ocelové plechy se navíc povrchově ošetřují antikorozií úpravou (žárový pozinkovaný povlak nebo žárový povlak z eutektické slitiny cca 95% Zn a 5% Al). Plechy mají standardní tloušťky 0,4 a 0,6 mm. Standardně používané izolační jádro je tuhá polyuretanová pěna s uzavřenými póry. Celková tloušťka panelů se pohybuje od 40 do 200 mm. Rozměry se dají po domluvě s výrobcem vytvořit tzv. na míru. Pohybují se většinou od 2 do 14,5 m. Celková hmotnost závisí na tloušťce panelu; cca. 11 – 18 kg / m².

Sendvičové panely mohou být kladeny vertikálně i horizontálně a jsou vhodné pro opláštění a zateplení všech typů budov. Metody upevňování ke konstrukci stavby se dějí buď viditelnými, nebo skrytými upevňovacími prvky. Nepodléhají napadení plísněmi, houbami ani hmyzem. [6]



Obr. 11 Viditelný upevňovací prvek [6]



Obr. 12 Skrytý upevňovací prvek [6]



Obr. 13 Příklad použití - stěna [6]

4. 1. 2 Střešní izolační panely

Opět to jsou panely ze tří vrstev. Materiály se neliší od těch, které se používají u stěnových panelů. Rozměry jsou taktéž podobné. Většina střešních panelů je univerzální a lze je použít i na opláštění a zateplení stěn budov. Mají pouze jinou profilaci svrchní kovové vrstvy. Lze je využít jak na opláštění plochých, tak i sklonitých střech. Při upevňování na nosnou konstrukci stavby máme opět na výběr mezi viditelnými a skrytými upevňovacími prvky. [6]



Obr. 14 Příklad použití - střecha [6]

4. 2 Tvrdé PUR a PIR desky

4. 2. 1 Zateplení stěn

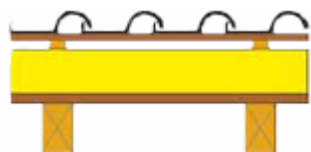
Vyrábí se v deskách s tvarovanými okraji (polodrážka, pero + drážka). Takto se dá zamezit vzniku tepelných mostů ve spárách. Zateplování stěn tímto materiálem je stejné jako nejběžněji používaným polystyrenem, tj. kontaktní zateplení. Tzn., že všechny vrstvy jsou ve vzájemném kontaktu (bez vzduchové dutiny).

Izolační vrstva se připevňuje ke zdi dvěma způsoby: lepením (tmely a lepidla doporučené dodavatelem zateplovacího systému), nebo kotvením (talířové hmoždinky). Povrchová úprava se provádí minerálními nebo disperzními omítkovinami. Ztužení omítky se provede vložením síťoviny ze skelných vláken, tím se dosáhne celistvosti a soudržnosti celého systému. Nevýhoda tohoto systému na rozdíl od sendvičových panelů spočívá v jeho závislosti na povětrnostních podmínkách. S tímto druhem zateplení se v praxi příliš nesetkáme. [7]

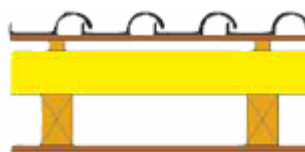
4. 2. 2 Zateplení střech

Pro příklad uvedu izolační systém LINITHERM. Desky se dodávají ve standardních velikostech 3000 x 1000 mm a tloušťce 80–200 mm. Po obou stranách jsou opatřeny hliníkovou folií, jež slouží jako parotěsná zábrana. Na svrchní straně jsou vysoce kvalitní polymerové pásy odolné vůči protržení s naneseným hydroizolačním pruhem. Ty na užší podélné straně cca 8 cm přecházejí. Obvodovým zámkem je pero + drážka, podobně jako u plovoucích podlah (překrytí 6 cm).

Desky se nejčastěji pokládají přímo na záklop nebo jen na krokve, ať již z vnější nebo vnitřní strany střechy. Tudíž nevznikají žádné tepelné mosty, na rozdíl od případu, kdy se izolace vkládá mezi krokve. Na PUR resp. PIR desku se přímo nad krokví položí dřevěná lať, ta se připevní vrutem skrz izolační desku až do krokve. Na tyto latě se kolmo připevní další a je možné pokládat tašky.



Obr. 15 Pokládka na záklop [8]



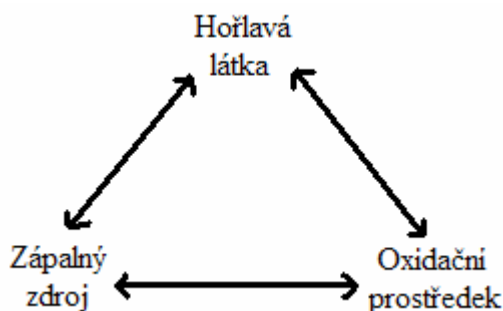
Obr. 16 Pokládka na krokve [8]

Jestliže bude finální krytina např. břidlice nebo jiný materiál menších rozměrů, jež se přibíjí, máme možnost použít polyuretan se svrchní stranou z opracovaných dřevěných desek. [8]

5 Požárně technické charakteristiky polyuretanů

Účinkem tepla na polyuretan vzniká mnoho postupných nebo i souběžných fyzikálních a chemických dějů. Při určitých specifických podmínkách, za přítomnosti oxidačního činidla, začne proces, který nazýváme hoření.

Hoření je složitý fyzikálně chemický proces, jehož základem jsou oxidačně redukční procesy doprovázené vývojem tepla a světla.



Obr. 17 Hořlavý soubor [10]

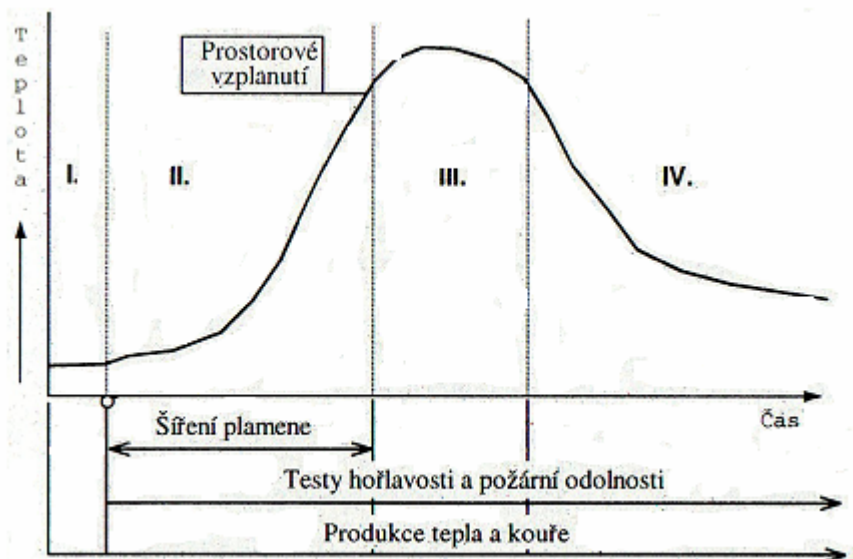
Aby došlo k hoření, musí být splněny tři základní podmínky, které můžeme vidět ve vrcholech trojúhelníku na *Obr. 17*. Na jednom místě musí být ve stejném čase přítomen hořlavý materiál obklopený prostředím s určitým oxidačním a energetickým potenciálem.

Základní prvky polyuretanů jsou převážně uhlík, vodík, dusík a kyslík. Při spalování těchto látek vzniká mnoho produktů, z nichž je řada látek toxických. Pro příklad to jsou oxid uhelnatý, uhličitý, oxidy dusíku, amoniak, kyanid, benzen aj. Jsou to látky toxické, dusivé, dráždí sliznice, dýchací cesty, případně i nechráněnou pokožku. Jejich působení není jen v místě požáru, ale i v naředěné formě se vzduchem ve větších vzdálenostech. [1, 10]

Základní požárně technické charakteristiky materiálů lze rozdělit takto:

- **vznětlivost (zapalitelnost)**
- **hořlavost**
- **tvorba kouře**

Proces, kdy je materiál zahříván a jeho následné hoření, se pro názornou ukázkou zobrazuje graficky, viz *Obr. 18*, za předpokladu, že hoření probíhá v uzavřeném prostoru s omezeným množstvím hořlavých hmot. Rozlišujeme 4 fáze rozvoje požáru.



Obr. 18 Fáze rozvoje požáru v uzavřeném objektu [10]

I. fáze: Zde působí zápalný zdroj na hořlavý materiál, ten se postupně zahřívá, dochází k jeho rozkladu a na konci této fáze je materiál zapálen. Předpokládáme, že materiál neuhasne a hoření pokračuje dál.

II. fáze: Tu lze charakterizovat jako šíření zóny hoření. Vzniklé teplo zahřívá další a další nehořící materiál. Je tak umožněno jednak plošné šíření plamene, jednak prohořívání materiálu do hloubky. Množství hořlavých zplodin a hoření nabývá na intenzitě. Hoření je řízeno palivem. Jelikož se ale nacházíme v uzavřeném prostoru, bude se postupně snižovat koncentrace kyslíku. Důsledkem je snižování intenzity hoření a zpomalení šíření plamene. Materiál, jenž by za normální koncentrace kyslíku hořel, momentálně pouze uvolňuje hořlavé plynné produkty, které se v tomto prostoru hromadí. Zde už je hoření řízeno oxidačním potenciálem prostředí. Tato situace je vyhovující pro prudké rozšíření plamenů na celý povrch materiálů, při kterém dojde k prudkému vyhoření nashromážděných hořlavých plynů. Tento stav může však nastat pouze při styku s oxidovadlem (např. prasknutí okenních výplní, otevření dveří apod.). V takovém okamžiku prudce vzroste teplota v objektu. Vzniklý jev se nazývá prostorové ventilační vzplanutí, tzv. **backdraught**. Vysoká teplota vrstvy kouře může iniciovat jiný jev, při kterém dochází k rychlému rozšíření plamenů. Hovoříme o prostorovém tepelném vzplanutí, tzv. **flash over**. Teplota kouře musí zpravidla dosáhnout hodnoty kolem 600°C, při zpětném tepelném toku na povrch materiálu o hustotě cca 30 kWm^{-2} . Přisun kyslíku není v tomto případě nutný. Hořící plocha se už dále zvyšovat nemůže, takže zvyšování teploty v prostoru a postup hoření do hloubky materiálu jsou již omezené. Zde je možno pozorovat přechod do tzv. kulminační fáze.

III. fáze: Tuto fázi můžeme nazvat jako ustálené hoření. Rychlost produkce tepla je přibližně stejná. Materiály prohořívají do hloubky, plamenné hoření může přecházet ve žhnutí.

IV. fáze: Tuto fázi můžeme nazvat dohořívání hořlavé látky. Plamenné hoření ztrácí na intenzitě, přestává se vyskytovat na souvislé ploše, přechází do stádia žhnutí.

Obr. 18 tedy dokumentuje průběh hoření. Nám může znázorňovat jednotlivé oblasti požárního zkušebnictví. V I. fázi jsou testy zapalitelnosti, ve II. fázi testy hodnocení tendence materiálu k šíření plamene. III. a IV. fáze rozhodujícím způsobem ovlivňuje výsledky testů produkce tepla a kouře.

Délka jednotlivých fází závisí na charakteru hořlavých materiálů a na jejich uspořádání v dotyčném prostoru. Např. při požárech kapalných a tavicích se látek bývá nejdelší III. fáze, přičemž II. a IV. fáze téměř zaniká. [10]

5.1 Stanovení zapalitelnosti

Zapalitelnost tuhých materiálů je definována jako schopnost přechodu hořlavé hmoty působením tepelného zdroje do nestabilního stavu, ve kterém jsou iniciovány a probíhají termooxidační procesy, projevující se emisí světla a tepla. Zapalitelnost se nejčastěji hodnotí jako určitá mezní teplota materiálu nebo jeho okolí, popř. tepelný výkon, jenž je nutný pro zapálení materiálu.

Teoreticky nejlépe definovaný parametr, který nám popíše proces zapálení, je aktivační energie dekompozice nebo zapálení materiálu. Problémem je její obtížné stanovení v praxi. [10]

5.2 Stanovení hořlavosti na základě šíření plamene

Šíření plamene po povrchu materiálu je velice významná charakteristika. Materiál z vyšší hodnotou šíření plamene je považován za hořlavější, než ten, který šíří plamen pomaleji. Hořlavost materiálů se posuzuje podle vnějšího procesu hoření. V praxi můžeme využít dva principy:

- **Hodnocení tendence šíření zóny hoření**
- **Hodnocení uvolňovaného tepla**

Aby proces hoření po zapálení materiálu mohl pokračovat, musí být tepelná bilance hořlavého systému kladná a rostoucí. To umožňuje další šíření plamene. Limitní je rovnovážný stav, tzv. kyslíkové číslo, jenž je vyjádřeno koncentrací kyslíku.

Jelikož neexistuje univerzální metoda testování materiálů na schopnost šířit plamen, musí jich být více. Jedná se o zkoušky určené pro určité tvarové modifikace nebo oblasti použití materiálu. Potřeba zavedení rozdílných metod vychází z nutnosti použití rozdílných zdrojů zapálení. Protože například pro testování textilních materiálů nám bude stačit zdroj s menším tepelným výkonem než např. pro stavební materiály. Zapalovací zdroje máme plamenné,

sálavé nebo kombinované. Odlišnosti jsou také v poloze vzorku zkoušeného materiálu vzhledem k zápalnému zdroji.

Ve většině metod jsou hodnotícími kritérii míra rozšíření zóny hoření, rychlost jejího šíření, povrchová teplota materiálu nebo minimální tepelný tok umožňující propagaci hoření. [10]

5.3 Hodnocení hořlavosti materiálů na základě vývoje tepla

Uspořádání vnitřní struktury a chemické složení materiálu ovlivňují jeho tepelnou stabilitu, mechanismus rozkladu a hlavně přímo určují množství uvolněného tepla při hoření. Toto uvolněné teplo spolu s fyzikálními vlastnostmi materiálu a vlivy okolí určují schopnost materiálu šířit oheň. Metod je zde opět celá řada. Ty, které vycházejí z předpokladu, že uvolněné teplo je rozhodující pro určení hořlavosti, se nazývají kalorimetrické. Kalorimetrické metody jsou dvě: [10]

- Hoření při zkoušce probíhá v prostředí izolovaném od vnějšího okolí za striktně daných podmínek. Dochází k řízenému spalování materiálu.
- Proces hoření probíhá v normálních podmínkách. Hoření je samovolné.

5.4 Tvorba kouře

Kouř je disperzní směs vznikající při procesech tepelného rozkladu a hoření organických hmot, skládající se z neoxidovaných pevných částic velikosti 10^{-9} - 10^{-5} m, kapalných částic a plynných produktů společně se značným množstvím vzduchu, který je přisáván nebo jinak do této směsi přimíchán.

Následky způsobené kouřem bývají závažnější než následky samotného hoření. Většina obětí požáru totiž není usmrcena plameny, nýbrž se udusí kouřem. Kouř způsobuje jak přímé, tak následné škody na majetku. Rizika spojené s vývojem kouře jsou: [10]

- **Snížená viditelnost**
- **Toxicita**
- **Korozivita**
- **Transport značného množství tepla**
- **Při nedokonalém hoření vznik výbušných koncentrací plynů a par**

5.5 Třídy reakce stavebních výrobků na oheň

Pojem třídy reakce stavebních výrobků na oheň se objevují v evropské normě ČSN EN 13501-1. Ta nahradila české normy ČSN 7308. V těch byl zmiňován tzv. stupeň hořlavosti (A, B, C1, C2, C3). Ten se dnes však již nepoužívá.

Třídy stavebních výrobků kromě podlahových krytin (podlahové krytiny mají svoji klasifikaci, která není náplní této práce):

Třída F: Výrobky, pro které nebyla zjištěna žádná třída nemohou být klasifikovány do žádné ze tříd A1, A2, B, C, D, E.

Třída E: Výrobky schopné odolávat působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření plamene.

Třída D: Výrobky vyhovující pro třídu E a schopné odolávat působení malého plamene po delší časový interval bez významného rozšíření plamene. Kromě toho jsou také schopny odolat působení tepla od jednotlivého hořícího předmětu za podstatného zpoždění a omezení uvolňování tepla.

Třída C: Jako třída D, ale vyhovující přísnějším požadavkům. Navíc při tepelném působení jednotlivého hořícího předmětu vykazují omezené rozšíření plamene.

Třída B: Jako třída C, ale vyhovující přísnějším požadavkům.

Třída A2: Vyhovující stejným kritériím EN 13823 jako pro třídu B. Kromě toho nebudou tyto výrobky za podmínek plně rozvinutého požáru významně přispívat ke kalorickému zatížení ani dalšímu růstu požáru.

Třída A1: Výrobky tříd A1 nebudou přispívat k požáru v žádném jeho stadiu, včetně plně rozvinutého požáru. Z tohoto důvodu jsou automaticky považovány za vyhovující všem požadavkům pro všechny nižší třídy.

Stupeň hořlavosti	Třída reakce na oheň
A	A1
B	A2
C1	B
C2	C nebo D
C3	E nebo F

Tab. 3 Převod stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň.

Doplňková klasifikace podle tvorby kouře:

- s3** Žádné omezení množství kouře není požadováno
- s2** Celkové množství kouře a poměrné množství kouře jsou omezeny.
- s1** Přísnější kritéria než pro s2.

Doplňková klasifikace podle plamenně hořících kapek/částic:

- d2** Bez omezení.
- d1** Žádné kapky/částice plamenně hořící déle než udávaný časový interval.
- d0** Žádné plamenně hořící kapky/částice.

[11]

5. 5. 1 Zkušební metody

Byly vybrány 4 zkušební metody na stanovení základních požárně technických charakteristik.

Stanovení vznětlivosti materiálů (ČSN 64 0149): Tzv. Setchkin. Tato zkouška platí pro stanovení vznětlivosti tuhých materiálů v různých formách.

Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla (ČSN 64 0756): Touto zkouškou hledáme nejnižší koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem, při které materiál hoří definovaným způsobem.

Zkouška zapalitelnosti (prEN ISO 11925 – 2): Touto zkouškou se stanoví zápalnost výrobku vystaveného působení malého plamene. Pro klasifikaci do tříd B, C, D, E.

Stanovení spalného tepla (prEN ISO 1716): Pomocí této zkoušky se stanoví maximální množství tepla uvolněného při úplném shoření výrobku, a to bez ohledu na způsob jeho konečného použití. Zkouška se využívá pro klasifikaci stavebních výrobků do tříd A1 a A2.
[10, 11]

Principy přípravy, zkoušení, počet zkoušek budou uvedeny u jednotlivých popisů měření.

6 Praktická část

Byl testován materiál PUR šarže B2R a šarže B3 a PIR šarže T255 od výrobce Kingspan a.s.

6.1 Stanovení vznětlivosti materiálů podle ČSN 64 0149

Tato zkouška je prováděna pro zjištění vznětlivosti tuhých materiálů v různých formách. Vznětlivost je schopnost materiálů zapálit se při zahřívání za zvýšených teplot. Vyjadřujeme ji teplotou vzplanutí a vznícení.

Teplota vzplanutí (FIT) je nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které přiblížením plamene dojde k zapálení plynných produktů rozkladu.

Teplota vznícení (SIT) je nejnižší teplota horkého povrchu, při které dojde k zapálení vzorku nebo plynných produktů rozkladu bez použití plamene.

Zkušební zařízení je elektrická odporová pec, tzv. Setchkinova pec (*Obr. 19*).



Obr. 19 Setchkinova pec

pozn. *Obr. 19 – 32* [zdroj autor]

Průběh zkoušky:

Vzorek materiálu se zahříval proudem vzduchu konstantní teploty a konstantní rychlosti proudění. Sledoval jsem zda během 15 minut dojde k vzplanutí materiálu. Vznik plamene jsem zjistil vizuálně a průběhem teploty vzduchu během měření (pomocí připojeného termoelektrického článku na vstup liniového zapisovače).

1. Zkouší se při konstantní rychlosti proudění vzduchu vnitřním válcem pece 25

$$mm \cdot s^{-1} .$$

2. Zvolil jsem si teplotu blízkou předpokládané hodnotě teploty vzplanutí polyuretanu.
3. Do pece jsem pustil vzduch o objemovém průtoku odpovídajícím konstantní rychlosti proudění vzduchu v peci $25 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnotu objemového průtoku vzduchu měřené za normální teploty jsem korigoval vzhledem k teplotě vzduchu v peci podle grafu průtoku vzduchu Setchkinovou pecí v závislosti na teplotě.
4. Teplota se nastavuje a udržuje na stejné hodnotě pomocí triakového regulátoru. Vzhledem k tomu, že má pec poměrně velkou setrvačnost, musel jsem při změně teploty vždy čekat cca 30 minut na její ustálení.
5. Zapálil jsem plamínek nad otvorem z pece. Vytáhl jsem držák s čistou a vyhřátou miskou z pece a do ní vložil předem připravený vzorek polyuretanu o hmotnosti 2 gramy. Ten jsem předem zpracoval do formy malých peciček v ručním lisu (*Obr. 20*). Poté jsem spustil vše zpátky dovnitř pece a současně jsem začal měřit čas. Tuto proceduru je nutno učinit v co nejkratším čase, aby nedošlo ke zbytečnému poklesu teploty vzduchu v peci.
6. Okamžik vzplanutí vzorku jsem zjistil vizuálně a zároveň nárůstem teploty vzduchu uvnitř zařízení, jež se objevila na záznamu ze zapisovače. Vzplanutí bylo vždy doprovázeno náhlým zvětšením pomocného plamínku, zvukovým efektem a následným uhasnutím.
7. Když do 15 minut od začátku zkoušky nedošlo ke vzplanutí, použil jsem nový vzorek za současného zvýšení teploty vzduchu uvnitř pece o 10°C . Došlo-li během 15 minut ke vzplanutí, teplotu vzduchu v peci jsem snížil vždy o 10°C . Nejnižší teplota, při které ještě dochází ke vzplanutí, je výsledná teplota vzplanutí. Zaokrouhlil jsem ji na nejbližších 5°C , ale vzhledem k bezpečnosti vždy směrem dolů.



Obr. 20 Ruční lis

Měření: (teplota = 24,7°C, vlhkost = 24,3 %, tlak = 980 bar)

Šarže B2R

Vzorek	Hmotnost	Teplota	Průtok vzduchu	Vzplanutí	Čas	Hmotnost zbytku
1	2,02 g	330 °C	3,625 l/min	ano	75 s	0,93 g
2	2,00 g	270 °C	4,063 l/min	ne	-	1,32 g
3	1,99 g	288 °C	3,938 l/min	ne	-	1,25 g
4	1,99 g	297,3 °C	3,875 l/min	ano	90 s	1,19 g

Tab. 4 Stanovení vznětlivosti – Setchkin (B2R)

Šarže B3

Vzorek	Hmotnost	Teplota	Průtok vzduchu	Vzplanutí	Čas	Hmotnost zbytku
1	2,04 g	297,3 °C	3,875 l/min	ne	-	1,12 g
2	1,98 g	302,2 °C	3,875 l/min	ano	70 s	1,08 g

Tab. 5 Stanovení vznětlivosti – Setchkin (B3)

Šarže T255

Vzorek	Hmotnost	Teplota	Průtok vzduchu	Vzplanutí	Čas	Hmotnost zbytku
1	1,99 g	309,5 °C	3,750 l/min	ano	90 s	1,17 g
2	1,99 g	297,3 °C	3,875 l/min	ne	-	1,24 g

Tab. 6 Stanovení vznětlivosti – Setchkin (T255)

Po vzplanutí peciček polyuretanu, měl jeho zbytek černou barvu. V případě, že nevzplanul, byla jeho barva hnědo-černá. Zbytek materiálu v kelímku byl vždy několikanásobně napěněný (*Obr. 22*). Velká část zuhelnatělého zbytku tak vypadávala na dno pece, tudíž se obtížně vytahoval a došlo ke zkreslení jeho hmotnosti. Hmotnost zbytku je tedy uvedena jen orientačně. U každého vzorku docházelo tepelnou degradací materiálu zhruba po 20 sekundách k vytváření plynných produktů, které barvily plamen do oranžova (*Obr. 21*). Ovšem jen od jistých teplot docházelo k jejich vzplanutí.

Teploty vzplanutí vzorků polyuretanů zaokrouhlené na nejbližších 5°C: (vždy směrem dolů)

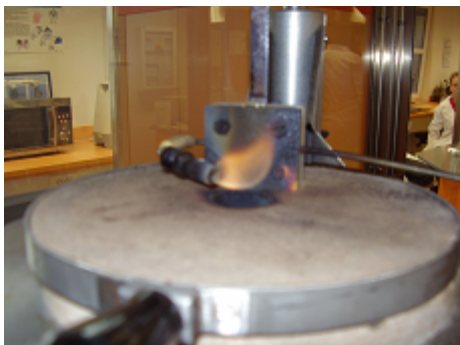
PUR

B2R 295 °C

B3 300°C

PIR

T255 305°C



Obr. 21 Barvení plamene



Obr. 22 Porovnání objemu vzorku a zbytku

6. 2 Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla podle ČSN 64 0756

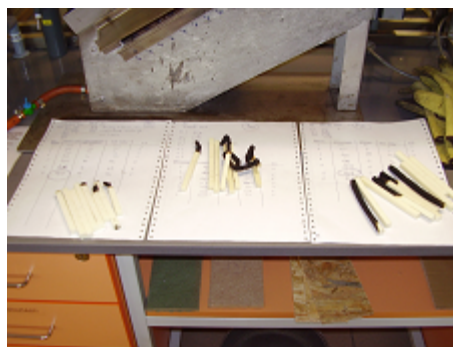
Kyslíkové číslo (OI) je nejnižší koncentrace kyslíku ve směsi s dusíkem, při které zapalovaný materiál hoří definovaným způsobem. Pro lehčené materiály je přesně dán rozměr vzorků. Délka 80–150 mm, šířka a tloušťka $10 \pm 0,5$ mm. Na takto připravené vzorky polyuretanu jsem nanesl značky ve vzdálenosti 50 mm od horního okraje.

Průběh zkoušky:

1. Rychlost proudění směsi plynů v pracovním válci byl nastaven na cca. $40 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, tomu odpovídá objemový průtok 18 l/min^{-1} . Nejprve jsem pustil ventil tlakové láhve s dusíkem, potom láhve s kyslíkem.
2. Na hrot uvnitř válce jsem postupně napichoval připravené vzorky polyuretanu. Nastavil jsem zvolenou koncentraci kyslíku (Obr. 23).
3. Plamen hořáku jsem přisunul k hornímu okraji polyuretanu. Zapalování trvalo max. 30 sekund. Nepodařilo-li se to, vyměnil jsem vzorek a zvýšil koncentraci kyslíku. V případě, že se zapalování povedlo, sledoval jsem se současným stopováním času, zda plamen do 180 sekund protne značku 50 mm. Hořel-li materiál více jak 180 sekund a zároveň hořící část nedosáhla 50 mm nebo hořel méně jak 180 sekund a zároveň hořící část dosáhla nejméně 50 mm, zaznačil jsem **X**. Jestliže nebyla splněna ani jedna z těchto podmínek, zaznačil jsem **0**. Zkoušené vzorky viz Obr. 24.
4. Materiály jsem zkoušel, dokud jsem nedosáhl páru koncentrací (vzájemně se lišící o 0,1%), z něhož pouze jedna koncentrace mohla být zapsána jako **X**. Nižší hodnota z tohoto páru je kyslíkové číslo.



Obr. 23 Aparatura připravená k měření



Obr. 24 Zkoušené vzorky

Měření: (teplota = 25,8°C, vlhkost = 37,6 %, tlak = 983 bar)

Šarže B2R – průměrná hmotnost = 0,35 g.

Číslo vzorku	Koncentrace O ₂ [%]	Doba zapalování [s]	Doba hoření [s]	X/0
1	20,1	4	0	0
2	21,0	10	0	0
3	22,3	2	20	X
4	21,7	1	6	0
5	22,1	1	23	X
6	22,0	1	25	X
7	21,9	1	30	0

Tab. 7 Stanovení kyslíkového čísla (B2R)

Šarže B3 – průměrná hmotnost = 0,48 g.

Číslo vzorku	Koncentrace O ₂ [%]	Doba zapalování [s]	Doba hoření [s]	X/0
1	21,0	2	21	X
2	18,4	30	0	0
3	19,5	30	0	0
4	20,0	4	25	0
5	20,6	2	31	X
6	20,2	3	43	X
7	20,1	4	12	0

Tab. 8 Stanovení kyslíkového čísla (B3)

Šarže T255 – průměrná hmotnost = 0,37 g.

Číslo vzorku	Koncentrace O ₂ [%]	Doba zapalování [s]	Doba hoření [s]	X/0
1	21,9	5	0	0
2	23,5	5	0	0
3	24,4	2	10	0
4	24,9	1	13	X
5	24,7	1	16	X
6	24,5	1	13	0
7	24,6	1	17	X

Tab. 9 Stanovení kyslíkového čísla (T255)

Kyslíková čísla vzorků polyuretanů:

PUR

B2R 21,9 %

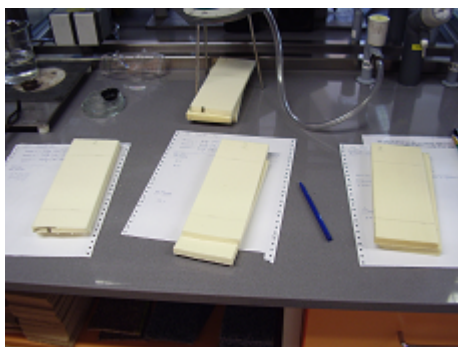
B3 20,1 %

PIR

T255 24,5%

6.3 Zkouška zapalitelnosti podle ČSN EN ISO 11925 – 2

Zkouška je určena pro stanovení zapalitelnosti stavebních výrobků. Vzorky jsou testovány ve svislé poloze s přiložením malého plamene (buď na plochu, nebo na hranu). Podle tohoto testu se zařídují stavební výrobky do tříd podle reakce na oheň. Zkouška se provádí se šesti vzorky o rozměrech 250 x 90 mm. 150 mm od místa zapalování se vytvoří ryska.



Obr. 25 Vzorky pro zkoušku zapalitelnosti

Průběh zkoušky:

1. Upevnil jsem do držáku zkoušený vzorek a vložil jej do zkušební komory. Hořák se sklopil o 45°. Posuvným táhlem jsem jej nastavil tak, aby špička plamene dosahovala buď na plochu, nebo na hranu zkoušeného polyuretanu, podle toho, jaký vzorek jsem zkoušel. Jeho spodní hrana byla vždy posunuta o 30 mm od spodního okraje držáku.
2. Hořák se zapaluje ve vertikální poloze. Po jeho zapálení jsem nastavil výšku plamene 20 mm. Tu jsem ověřoval při každém dalším měření.
3. Plamen jsem sklopil o úhel 45° a zajistil aretačním šroubem. Po posunutí táhla se zapáleným hořákem ke zkoušenému materiálu začíná měření času. Zapalování trvalo 15, nebo 30 sekund. Dobu zapalování určil vedoucí bakalářské práce. Doba zkoušky byla při 15 sekundovém zapalování 20 sekund. Při 30 sekundovém celkem 60 sekund.
4. Sledoval jsem, zda se plamen rozšířil svisle vzhůru do vzdálenosti 150 mm od místa aplikace plamene. Po uplynutí předepsaného času jsem táhlo s hořákem odsunul.

Měření: (teplota = 25,8°C, vlhkost = 37,6 %, tlak = 983 bar)

Šarže B2R – průměrná hmotnost = 11,12 g, objemová hmotnost = $4,94 \cdot 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Číslo vzorku	Způsob zapalování	Délka expozice [s]	Plamen dosáhl 150 mm	Poznámky
1	Na plochu	30 + 30	Ne	Plamen se po povrchu materiálu vždy šířil 10 – 15 s, ale poté uhasl. Po oddálení plamene materiál nehořel. Rysky ve vzdálenosti 150 mm od místa expozice nebylo ani v jednom případě dosaženo.
2	Na plochu	15 + 5	Ne	
3	Na hranu	15 + 5	Ne	
4	Na plochu	30 + 30	Ne	
5	Na plochu	15 + 5	Ne	
6	Na hranu	15 + 5	Ne	
7	Na plochu	30 + 30	Ne	
8	Na plochu	15 + 5	Ne	
9	Na hranu	15 + 5	Ne	
10	Na plochu	30 + 30	Ne	
11	Na plochu	15 + 5	Ne	
12	Na hranu	15 + 5	Ne	
13	Na plochu	30 + 30	Ne	
14	Na plochu	15 + 5	Ne	
15	Na hranu	15 + 5	Ne	
16	Na plochu	30 + 30	Ne	
17	Na plochu	15 + 5	Ne	
18	Na hranu	15 + 5	Ne	

Tab. 10 Zkouška zapalitelnosti (B2R)

Šarže B3 – průměrná hmotnost = 11,48 g, objemová hmotnost = $4,58 \cdot 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Číslo vzorku	Způsob zapalování	Délka expozice [s]	Plamen dosáhl 150 mm	Poznámky
1	Na plochu	30 + 30	Ano	Plamen se po povrchu materiálu vždy šířil. Při zapalování na plochu materiál po oddálení plamene uhasl. Při zapalování na hranu hořel i po oddálení plamene. Rysky ve vzdálenosti 150 mm od místa expozice bylo vždy dosaženo.
2	Na plochu	15 + 5	Ano	
3	Na hranu	15 + 5	Ano	
4	Na plochu	30 + 30	Ano	
5	Na plochu	15 + 5	Ano	
6	Na hranu	15 + 5	Ano	
7	Na plochu	30 + 30	Ano	
8	Na plochu	15 + 5	Ano	
9	Na hranu	15 + 5	Ano	
10	Na plochu	30 + 30	Ano	
11	Na plochu	15 + 5	Ano	
12	Na hranu	15 + 5	Ano	
13	Na plochu	30 + 30	Ano	
14	Na plochu	15 + 5	Ano	
15	Na hranu	15 + 5	Ano	
16	Na plochu	30 + 30	Ano	
17	Na plochu	15 + 5	Ano	
18	Na hranu	15 + 5	Ano	

Tab. 11 Zkouška zapalitelnosti (B3)

Šarže T255 – průměrná hmotnost = 8,69 g, objemová hmotnost = $3,45 \cdot 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

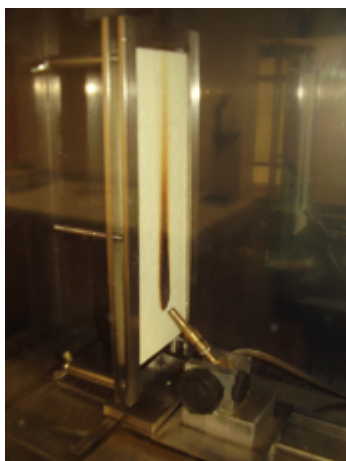
Číslo vzorku	Způsob zapalování	Délka expozice [s]	Plamen dosáhl 150 mm	Poznámky
1	Na plochu	30 + 30	Ne	Plamen se po povrchu materiálu nešířil. Rysky ve vzdálenosti 150 mm od místa expozice nebylo ani v jednom případě dosaženo.
2	Na hranu	30 + 30	Ne	
3	Na plochu	30 + 30	Ne	
4	Na hranu	30 + 30	Ne	
5	Na plochu	30 + 30	Ne	
6	Na hranu	30 + 30	Ne	
7	Na plochu	30 + 30	Ne	
8	Na hranu	30 + 30	Ne	
9	Na plochu	30 + 30	Ne	
10	Na hranu	30 + 30	Ne	
11	Na plochu	30 + 30	Ne	
12	Na hranu	30 + 30	Ne	

Tab. 12 Zkouška zapalitelnosti (T255)

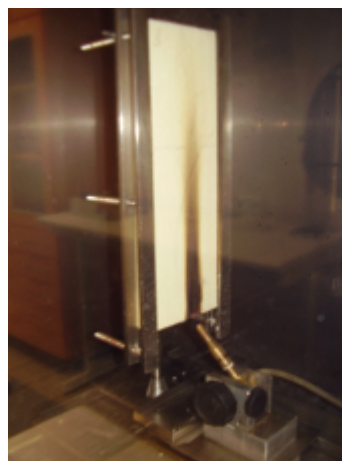
Polyuretan během zkoušek vyvíjel velké množství kouře, neodkapával, nežhnul. V místech působení plamene a zplodin hoření zůstal zuhelnatělý (Obr. 26 – 29). Vzorky šarže B3 měly na svém povrchu výraznější trhliny.

Pro zařazení do třídy E nesmí plamen při 15 sekundovém zapalování přesáhnout hranici 150 mm.

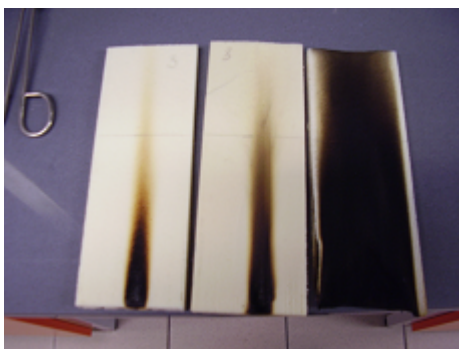
Pro třídy D, C a B nesmí plamen při 30 sekundovém zapalování přesáhnout hranici 150 mm.



Obr. 26 Zapalování na plochu



Obr. 27 Zapalování na hranu



Obr. 28 Zapalování na plochu T255/B2R/B3 Obr. 29 Zapalování na hranu T255/B2R/B3

Zařazení do tříd podle reakce na oheň:

PUR

B2R

třída E

B3

třída F

PIR

T255

třída B – D

6. 4 Stanovení spalného tepla podle ČSN EN ISO 1716

Spalné teplo je veškeré množství tepla, které se uvolnilo úplným spálením paliva v kalorimetrické tlakové nádobě naplněné stlačeným kyslíkem. Základní jednotkou je $J \cdot g^{-1}$. Polyuretan jsem zkoušel v poloautomatickém kalorimetru IKA C 200 (*Obr. 30*). Oproti klasickým kalorimetrům jsem si tak svou práci zjednodušil. Po vložení předem připravených vzorků dovnitř kalorimetru jsem už jen počkal cca 14 minut na výsledek, jenž zobrazil displej. Z každé šarže polyuretanů jsem provedl tři měření a z nich potom aritmetický průměr, což je výsledné spalné teplo.



Obr. 30 Poloautomatický kalorimetr IKA C 200

Průběh zkoušky:

1. Polyuretan jsem si připravil na ručním lisu do tvaru peciček vážících kolem 0,5 gramu (*Obr. 31*). Jejich přesnou hmotnost jsem musel zvážit na 4 desetinná místa, aby bylo stanovení spalného tepla co nejpřesnější.
2. Takto připravený vzorek jsem vložil do spalovací misky. Na zapalovací drátek jsem připevnil bavlněnou nitku, jejíž konec se dotýkal vzorku ve spalovací misce (*Obr. 32*).
3. Kalorimetrická tlaková nádoba se uzavřela šroubovacím víčkem a naplnila kyslíkem na tlak 31 bar. Na víčko se nasunul zapalovací adaptér, celá tato směs se vložila do kalorimetru.
4. Do zásobníku kalorimetru jsem nalil zhruba 2 litry vody. Vzhledem k tomu, že teplota vody v kalorimetrické nádobě má být nižší o 0,5 – 1,5 °C než voda v plášti, musel jsem do ní před nalitím vložit kostky ledu. Pak jsem přístroj uzavřel víkem.
5. Na přístroji jsem ještě zadal váhu vzorku na 4 desetinná místa a pak už jen čekal na výsledek. Nakonec se nazvedl kryt kalorimetru, tím se z něj vypustila voda. Z

kalorimetrická nádoby se vypustil přetlak a po otevření jsem ještě kontroloval, zda se vzorek celý spálil.



Obr. 31 Pecičky polyuretanu



Obr. 32 Spalovací miska

Měření: (teplota = 25,8°C, vlhkost = 37,6 %, tlak = 983 bar)

Šarže B2R

Číslo vzorku	Hmotnost [g]	Spalné teplo [J/g]
1	0,4961	28 679
2	0,5240	28 094
3	0,5174	28 171

Průměr = **28 315** $J \cdot g^{-1}$

Šarže B3

Číslo vzorku	Hmotnost [g]	Spalné teplo [J/g]
1	0,5663	27 919
2	0,5286	27 812
3	0,5555	28 685

Průměr = **28 134** $J \cdot g^{-1}$

Šarže T255

Číslo vzorku	Hmotnost [g]	Spalné teplo [J/g]
1	0,6136	27 842
2	0,6072	27 877
3	0,5982	27 761

Průměr = **27 827** $J \cdot g^{-1}$

Tab. 13 – 15 Hodnoty spalného tepla

Hodnoty spalného tepla jsou u všech zkoušených polyuretanů přibližně stejné.

7 Závěr

Cílem této práce bylo porovnat požárně technické charakteristiky izolačních materiálů PUR a PIR. Na začátku byly k dispozici pouze zkušební materiály. Konkrétně tři šarže tvrdých polyuretanových izolačních pěn. Dvě byly tzv. PUR pěny a jedna PIR pěna. Požárně technické charakteristiky jednotlivých vzorků jsem si musel nejprve změřit ve zkušební laboratoři. Měření bylo časově náročné a vyžádalo si několik dní.

Typ polyuretanu	Šarže	Teplota vzplanutí [°C]	Kyslíkové číslo [%]	Třída reakce na oheň	Spalné teplo [MJ/kg]
PUR	B2R	295	21,9	E	28,315
PUR	B3	300	20,1	F	28,134
PIR	T255	305	24,5	B - D	27,827

Tab. 16 Požárně technické charakteristiky polyuretanů

Z naměřených hodnot v *Tab. 16* můžeme vypočítat hned několik skutečností. Materiály jsou si dosti podobny v kategoriích spalného tepla a teploty vzplanutí. Zato u třídy reakce na oheň a kyslíkového čísla se podobnost výrazně rozchází.

Nejvíce hořlavý materiál je PUR B3. Nemá sice nejnižší hodnotu teploty vzplanutí, ale ostatní ukazatele má nejméně vhodné ze všech tří vzorků. Tento materiál je schopen hořet i za sníženého obsahu kyslíku v okolním prostředí (pod hranicí přirozeného obsahu kyslíku v atmosféře), tudíž by mohl hořet i v uzavřených prostorech, kde není zajištěna dostatečná výměna vzduchu. Navíc nevyhověl v testu šíření plamene po povrchu, kde získal zařazení do třídy F (reakce stavebních výrobků na oheň).

O stupeň výše dopadl polyuretan PUR B2R. Ten měl sice teplotu vzplanutí nejnižší ze všech, ale v ostatních kategoriích na tom byl už lépe. Kyslíkové číslo nám napovídá, že za normálního stavu (21% kyslíku ve vzduchu) by tento materiál při styku s malým zápalným zdrojem neměl šířit plamen po svém povrchu. Když už by se nám povedlo jej zapálit, měl by zase rychle uhasnout. Proto mohl být také zařazen do třídy E (reakce stavebních výrobků na oheň).

Nejlépe si v porovnání požárně technických charakteristik vedl materiál PIR T255. Kromě nejvyšší teploty vzplanutí má také výrazně vyšší kyslíkové číslo. Tento materiál při styku s malým zdrojem plamene nebude hořet. Třidu reakce na oheň má někde v rozmezí B – D. Pro bližší určení by bylo zapotřebí velkorozměrové zkoušky podle EN 13823.

Stejně jako ve většině odvětví hospodářství, tak i zde jsou vzrůstající kvalitativní vlastnosti přímo úměrně oceněny. Proto je pochopitelné, že nejvíce stojí materiál PIR T255, nejlevněji se dá pořídit polyuretan PUR B3.

8 Zdroje a literatura

- [1] FILIPI, B. *Plasty*. 1. vydání. Ostrava: SPBI, 2003. 48 s. ISBN 80-86634-13-2.
- [2] VESELÝ, K. *Polymery*. 1. vydání. Brno: Uniplast, 1992. 178 s. ISBN 80-02-00951-7.
- [3] DOMBROW, B. *Polyuretany*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. 136 s. I-29904-1037/62.
- [4] MLEZIVA, J – ŠŇUPÁREK, J. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. vydání. Praha: Sobotáles, 2000. 544 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [5] DROCHYTKA, R. *Plastické látky ve stavebnictví*. 1. vydání. Brno: CERM, 1998. 122 s. ISBN 80-214-1148-1.
- [6] Internetové stránky společnosti Kingspan [online] [cit.2010-03-27]. Dostupný z WWW: <http://www.kingspan.cz/sendvicove-panely-zatepleni-izolace-oplasteni-1727.html>
- [7] VLČEK, M – BENEŠ, P. *Zateplování staveb*. 1. vydání. Brno: CERM, 2000. 110 s. ISBN 80-7204-164-9.
- [8] Internetové stránky společnosti Linzmeier [online] [cit.2010-03-29]. Dostupný z WWW: <http://www.linzmeier.de/cz>
- [9] ŘEHÁNEK, J et al. *4 x E o tepelné izolaci budov*. 1. vydání. Praha: ČKAIT, 2004. 252 s. ISBN 80-86769-25-9.
- [10] FILIPI, B. *Nauka o materiálu*. 1. vydání. Ostrava: SPBI, 2003. 124 s. ISBN 80-86634-11-6
- [11] ČSN EN 13501-1: *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*, Český normalizační institut, Praha, 2005. 44 s.

9 Seznam obrázků, tabulek a zkratek

Obr. 1	Rozdělení polymerů
Obr. 2	Adice vícefunkčního alkoholu na vícefunkční izokyanát
Obr. 3	Reakce m-toluylendiaminu s fosgenem
Obr. 4	Schéma přípravy izomerních toluylendiisokyanátů
Obr. 5	Vznik lineárního polyuretanu
Obr. 6	Rozdělení polyuretanů
Obr. 7	Rozdělení lehčených hmot
Obr. 8	Dyfenylmetandiisokyanát a isokyanurát
Obr. 9	Průřez integrální polyuretanovou pěnou
Obr. 10	Průběh součinitele prostupu tepla v závislosti na tloušťce konstrukce
Obr. 11	Viditelný upevňovací prvek
Obr. 12	Skrytý upevňovací prvek
Obr. 13	Příklad použití - stěna
Obr. 14	Příklad použití - střecha
Obr. 15	Pokládka na záklop
Obr. 16	Pokládka na krokve
Obr. 17	Hořlavý soubor
Obr. 18	Fáze rozvoje požáru v uzavřeném objektu
Obr. 19	Setchkinova pec
Obr. 20	Ruční lis
Obr. 21	Barvení plamene
Obr. 22	Porovnání objemu vzorku a zbytku
Obr. 23	Aparatura připravená k měření
Obr. 24	Zkoušené vzorky
Obr. 25	Vzorky pro zkoušku zapalitelnosti
Obr. 26	Zapalování na plochu
Obr. 27	Zapalování na hranu
Obr. 28	Zapalování na plochu T255/B2R/B3
Obr. 29	Zapalování na hranu T255/B2R/B3
Obr. 30	Poloautomatický kalorimetr IKA C 200
Obr. 31	Pecičky polyuretanu

Obr. 32 Spalovací miska

Tab. 1	Typy polyuretanových lakařských pojiv
Tab. 2	Účinnost zateplování budovy polyuretanem
Tab. 3	Převod stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň
Tab. 4	Stanovení vznětlivosti – Setchkin (B2R)
Tab. 5	Stanovení vznětlivosti – Setchkin (B3)
Tab. 6	Stanovení vznětlivosti – Setchkin (T255)
Tab. 7	Stanovení kyslíkového čísla (B2R)
Tab. 8	Stanovení kyslíkového čísla (B3)
Tab. 9	Stanovení kyslíkového čísla (T255)
Tab. 10	Zkouška zapalitelnosti (B2R)
Tab. 11	Zkouška zapalitelnosti (B3)
Tab. 12	Zkouška zapalitelnosti (T255)
Tab. 13	Hodnoty spalného tepla
Tab. 14	Hodnoty spalného tepla
Tab. 15	Hodnoty spalného tepla
Tab. 16	Požárně technické charakteristiky polyuretanů

PUR	polyuretan
PIR	polyisokyanurát
IČ	infračervený
obr.	obrázek
tab.	tabulka
apod.	a podobně
aj.	a jiné
tzv.	tak zvaný
např.	například
mil	milion
popř.	popřípadě
cca	přibližně
viz	vizuálně
hod.	hodina
tj.	to jest

resp.	respektive
m	metr
g	gram
s	sekunda
mm	milimetr
max.	maximálně
min.	minimálně
tzn.	to znamená
Zn	zinek
Al	hliník
mm/s	milimetr za sekundu
l/min	litr za minutu
g/cm^3	gram na centimetr krychlový
J/g	joule na gram
MJ/kg	megajoule na kilogram
pozn.	poznámka